

石油化工管道带压开孔控制要点

雍万军 许炳琰 (中化泉州石化有限公司, 福建 泉州 362000)

摘要: 管道带压开孔在石油化工项目中的应用带来了良好的经济效益, 严格的带压开孔质量控制是实现高经济回报的必要保证。本论文结合泉州丙烯腈项目三十多条管线带压开孔的工程实例, 从设备材料选型、材料预制安装、马鞍口焊接、开孔机系统压力试验、开孔步骤控制等方面介绍带压开孔质量控制的重难点, 为后续石油化工管道带压开孔提供指导意义。

关键词: 石油化工; 管道; 带压开孔; 控制要点

0 引言

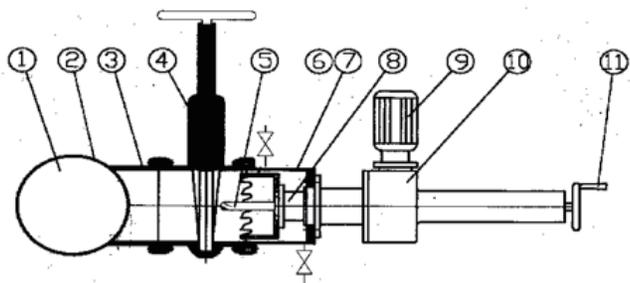
管道带压开孔顾名思义是在承压或者运行的管道上开一个口。带压开孔技术是上个世纪五十年代兴起的一种用于管道改造、抢修技术, 它是一种不影响生产的施工技术, 可以很好的解决管道中断供应难题, 给社会带来了巨大的经济效益。国内从上世纪八十年代开始研究, 经过四十多年的发展, 带压开孔技术在管道改造、抢修过程中发挥着越来越重要的作用。

福建泉州某新建丙烯腈项目有部分管线需要和正在运行管线碰头, 考虑不停工状态进行新旧管线碰头, 使用在线带压开孔的方式连接新旧管线。本次带压开孔包括大口径、高温高压、高处等三十多条管线, 施工难度大, 安全管控难度大, 工期要求严格。

1 管道带压开孔理论基础

1.1 开孔机工作原理

开孔机工作原理图



1、介质 2、管道 3、短管 4、阀门 5、中心钻头 6、桶刀
7、接盘 8、刀座 9、电机 10、开孔机 11、手轮

图1 开孔机工作原理图

开孔机主要包括三个部分, 开孔机构、液压系统和控制系统。开孔机构是带压开孔机的核心部分, 其主要包括机架、压板和刀模。液压系统是带压开孔机的驱动力来源, 其主要包括油箱、油泵、电磁阀、液压缸等部分。通过油泵将液压油从油箱中抽出, 并通过电磁阀控制液压缸的动作, 从而形成压力, 并将开

孔力传递到压板上。控制系统是带压开孔机的大脑, 负责控制液压系统的工作状态。操作者可以通过人机界面进行设置和控制, 实现带压开孔机的自动化工作。

开孔机工作时由液压系统 (或手动操作手轮) 提供动力源, 通过开孔机减速箱减速达到预定压力 (根据管道不同材质、管径、壁厚设置不同压力), 带动主轴转动, 安装在主轴上的中心钻和桶刀则跟着旋转; 同时转动手轮或者设置自动进给, 通过连杆传动, 实现安装在主轴上的中心钻和桶刀直线进给, 从而达到管道开孔的目的。

1.2 管道开孔补强理论计算

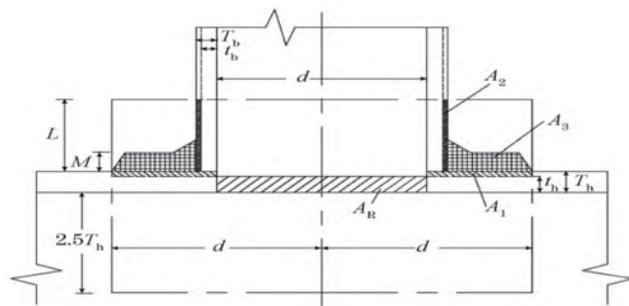


图2 支管焊接补强示意图

管道开孔补强在 ASME 及国标中都有明确要求, ASME 关于支管焊接和支管焊接以后主管的补强都有详细规定。支管焊接补强示意图见图 2。支管焊接以后主管的补强面积可根据 ASME 规范计算。需要补强的面积 $A_R = dt_h$, 可用于补强的面积为 $A_1 + A_2 + A_3$ 。下面公式成立则可以判断用于补强的面积满足要求:

$$A_1 + A_2 + A_3 > A_R \quad (1)$$

式中: A_1 为 $(T_h - t_h)d$; 单位为平方毫米 mm^2 ; A_2 为 $2(T_h - t_h)L$; 单位为平方毫米 mm^2 ; A_3 为外加补强面积; 单位为平方毫米 mm^2 ; d 为集管 (护板) 管壁上开孔的长度 (支管内径); 单位为毫米 mm ; L 为 $2.5T$ 或 $2.5T + M$ 中的较小值; 单位为毫米 mm ; M 为补强厚度; 单位为毫米 mm ; T_h 为支管公称壁厚; 单位为毫

米 mm; t_h 为设计支管壁厚; 单位为毫米 mm; T_h 为集管(护板)公称壁厚; 单位为毫米 mm; t_h 为设计集管(护板)壁厚; 单位为毫米 mm。

1.3 带压管道施焊压力计算

$$P = \frac{2\sigma_s(t-c)}{D} F > \text{微正压}$$

上式成立, 则管道具备安全焊接的条件。式中:
 p —带压管道允许施焊的压力 (MPa); σ_s —管材的最小屈服极限 (MPa); t —管道焊接处的真实壁厚 (mm);
 c —管道焊接引起的壁厚修正值 (mm), 参见表 1;
 D —管道外直径 (mm); F —推荐安全系数, 参见表 2。

表 1 推荐修正值

选用焊条直径 /mm	4	3.2	2.5	<2.0
壁厚修正值 /c	2.8	2	1.6	1.4

表 2 推荐安全系数

实际壁厚 t /mm	$t < 6.4$	$6.4 \leq t < 7$	$7 < t < 12.7$	$t \geq 12.7$
F	0.4	0.55	0.68	0.72

2 管道带压开孔作业过程

2.1 材料验收

施工所需的阀门、管件、法兰等开孔所需的器材购置齐备。特别注意检查用于带压开孔的阀门, 对照随阀门带来的质量证明文件进行逐一核查, 核查阀门的制造厂家、公称压力、公称直径、阀门型号等是否和实物吻合, 并且能够满足带压开孔需求。阀门外观检查合格后对阀门进行开关试验, 确保阀门开关正常、无卡涩, 特别注意阀门必须能够全开全关。

阀门开关正常后按照阀门质量证明文件注明的压力等级对阀门的阀体和阀门密封进行 100% 水压试验。试压合格后的阀门挂上合格标签, 避免阀门错误领用对试压合格后用于带压开孔的阀门单独存放备用。

2.2 预制短节及闸阀安装

提前进行马鞍口直管段与法兰的焊接, 对预制好的短节法兰口焊缝进行 100% RT 检测, 保证焊缝质量满足要求。法兰短节与主管焊接前, 除去主管外防腐层进行测厚, 根据实测壁厚进行管道带压施压计算, 确保主管具备安全焊接条件。

将预制好的短节与母管焊接, 法兰短节与母管之间的焊接选用合适的焊条小电流进行焊接, 允许在焊接不同的位置调整电流大小, 减少过热或烧穿的可能性。焊角大小以开孔接管和母管之间的最小厚度值为准。焊接时确保母管中介质正常流动, 起到对焊接处降温作用, 但流速也不应过大, 管道内液体流速不应大于 5m/s, 气体流速不应大于 10m/s。严格按照带压焊接方法进行焊接: 开孔支管与母线的焊缝间隙不大于 2mm; 法兰中轴线与其对焊管道中心轴线偏移小于

1.5mm; 采用多道小焊道的焊接方法, 每层焊接厚度不超过 2mm。

短节与母管焊接完成以后, 对马鞍口角焊缝进行 100% PT 检测。检测合格后进行补强板焊接, 补强板焊接完成以后焊接工作需要对短管进行支撑固定。预制短节及补强板焊接完毕后, 将带压开孔阀门安装到已焊接好的短节上并用螺栓 100% 紧固, 阀门安装的螺栓垫片全部都要用正式垫片, 不能用临时垫片代替。

2.3 开孔机的安装和压力试验

开孔机和开孔连箱需要和已安装完成的闸阀、预制短节同轴安装, 通过开孔连箱上设置的阀门对开孔刀模所在的空腔进行氮气试压, 试验压力为 1.25 倍的设计压力。试压过程中, 检查各连接部位(马鞍口角焊缝、法兰与短节对接焊缝、法兰与阀门静密封、阀门与开孔机静密封等)确保无泄漏。试压合格后如有需要置换则用氮气等惰性气体置换开孔密封空腔内的空气。

密封空腔内的空气置换可以用氮气进行置换, 利用开孔连箱的吹扫口和放空阀进行氮气的充入及排放, 置换 3-5 遍后从放空阀排放口取样送化验室检测, 检测结果合格则空腔内空气置换完成, 此时关闭开孔机上所有阀门停止氮气置换。

2.4 管道带压开孔操作步骤

开孔机试运, 开孔机接通电源后, 启动液压泵站, 检查液压油高压胶管和液压泵站配套电机等是否运行正常。开孔机和液压泵站是通过高压胶管相连接, 启动开孔机检查试运情况。本项目带压开孔管道基本在高空, 液压泵站和开孔机距离较远, 运行时保证高压油管安全可靠, 两边操作人员要时刻保持沟通。

开孔机试运行未发现异常后停机, 通过手轮摇动控制开孔机主轴进给, 待安装在主轴上的中心钻头尖部接触到母管管壁时, 记录此时读数, 并将此时读数清零, 重新开始计数。开孔机启动后, 设置自动进给挡, 中心钻控制每分钟小于 1.5mm 的前进速度, 慢慢前进逐渐钻穿管壁, 控制中心钻的前进距离, 防止管道被钻穿孔, 中心钻达到设定深度时, 钻头插销自动打开锁住管壁。

中心钻头达到预定位置锁住管壁以后开始作业, 开孔机设置自动进给挡, 安装在主轴上的插刀开始切削作业, 开始切削作业控制速度不宜过快, 后续可以慢慢调整切削进给最大速度不超过 17 转/分。根据管道壁厚以及液压油压力确认带压开孔工作完成, 关闭开孔机电源, 手动摇动手轮, 把开孔刀模与管壁废料一起带回开孔连箱内关闭闸阀。带压开孔工作人员打

开连箱上的排气阀泄压，泄压完成工作场所无有毒有害及可燃气体工作人员拆卸开孔机。

2.5 轴向斜 45 度带压开孔

本项目难度最大的一个带压开孔，位于化工管廊顶部 20 米层，需要在直径 1.5 米的主管上开一个直径 0.6 米的孔，开孔方向为斜向上 45 度方向。

大管径轴向斜 45 度带压开孔作业在我司属于首例，我司技术人员与施工单位在车间按照 1 : 1 的实际管径进行开孔试验，试验过程顺利，无卡刀、鞍形板脱落等情况。现场长时间危险作业风险大，带压开孔从定位块焊接到开孔以后阀门安装需要 4 天时间，其中接近三十小时进行运行管道上焊接和开孔切削重大危险作业。

3 管道带压开孔质量控制要点

3.1 开孔部位的选取

开孔部位的选取是开孔能否成功的关键因素。本项目开孔部位主要集中在管廊和装置区内，开孔部位周边环境复杂，可操作空间有限，开孔部位周边禁止存在易燃易爆气体。开孔部位的选取首先考虑是否有足够空间安装开孔机。大口径管道开孔还需要考虑留有足够空间供吊装大型开孔机和阀门用。开孔部位避开管道焊缝并清理干净。开孔部位周边进行不少于 8 个点的管道壁厚测量，且壁厚最小值不能小于 4.8mm，否则该部位不能进行带压开孔，管道圆度误差值不能超过管外径的 1%。

3.2 开孔材料设备检查

用于带压开孔的阀门阀体和密封面进行 100% 压力试验，同时对阀门进行全开全关检查，本项目中出现过阀门和开孔机安装以后，阀门不能全打开，带压开孔工作被迫中止，碰头工作没有完成，影响项目总体进度计划。

开孔机以及液压系统的检查包括外观检查、各部件连接完整性检查、能否正常工作检查（启动、运行、停止正常），对于重要及危险性较高设备本项目要求出厂时间不超过五年。不同规格的管道带压开孔需要匹配不同规格的中心钻头，本项目中出现因中心钻头不匹配，开孔以后管壁废料无法取出来，对安全生产造成重大安全隐患。

带压开孔材料和设备安装完成以后，需要对整个系统进行气密检查，主要对马鞍口角焊缝、法兰与短节对接焊缝、法兰与阀门静密封、阀门与开孔机静密封等泄漏口进行详细检查，确保无泄漏。

3.3 焊接质量控制

带压开孔焊接作业主要有法兰与短节焊接、预制

法兰短节和母管焊接以及补强板的焊接，其中预制法兰短节和母管焊接质量控制是带压开孔质量控制重点。焊接前对焊缝两边 50mm 范围内管材表面进行清理打磨，去除焊接影响区内的污油、氧化皮和焊渣。

法兰短节与母管之间的焊接选用正确的焊条小电流进行焊接，电流大小不超过 100A，允许在焊接不同的位置调整电流大小，减少过热或烧穿的可能性。焊角大小以开孔接管和母管之间的最小厚度值为准。焊接时确保母管中介质正常流动，起到对焊接处降温作用。

焊接时确保母管中介质正常流动，起到对焊接处降温作用，但流速也不应过大，管道内液体流速不应大于 5m/s，气体流速不应大于 10m/s。过大的流速会加速带走热量，导致冷却过快产生裂纹。

4 结束语

①建立健全的安全管理体系和高效运转的安全管理机构。本项目带压开孔安全管理难度大，带压开孔涉及特级动火、吊装、高处、临电等危险作业，作业过程需要协调不同部门，带压开孔作业由项目部发起，属地部门审批，公司领导签发；②严格控制材料和开孔设备质量。用于带压开孔的阀门需要质量证明文件齐全，压力试压合格，阀门能够全开全关。开孔机能够正常运行，中心钻头根据开工管道特性匹配；③焊接质量控制。选用小电流、多层多道焊、降低线能量，确保焊接过程中不把母管焊穿。合理控制母管内物料的流速，防止冷却过快产生裂纹；④带压开孔技术是一种新型的新旧管道连接方式，他可以在原有管道不中断供应情况下进行新旧管线碰头，是一种简便、快捷并且安全高效的施工技术，带压开孔技术的广泛应用可以带来良好的经济效益；⑤管道带压开孔技术越来越多在石油化工项目中应用，也取得很大经济效益，但是以下不适用情况：管道内处于负压状态；运行氢气、氧气、氯气、碱类、酸类及 I 级（极度危害）、II 级（高度危害）毒物、有放射性物质的管道；环氧乙烷、氢气管道；浮顶罐浮盘上。

参考文献：

- [1] 王志亮. 带压开孔管道强度性能的研究 [D]. 南京：南京工业大学, 2016.
- [2] 蔚海文. 钻杆新型带压开孔装置关键技术的研究 [D]. 成都：西南石油大学, 2012.

作者简介：

雍万军 (1987-)，男，汉族，安徽定远人，研究生，中级工程师，研究方向：工程管理。